



**Universidade de Brasília**

**Instituto de Geociências**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO  
– AMBIENTAL**

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental, na  
Área de Influência Direta do Ramal do Agreste  
e nos cursos hídricos intermitentes e efêmeros  
interceptados por este empreendimento  
utilizando o método AHP e técnicas de  
geoprocessamento.**

**DAVI TADEU BORGES MARWELL**

Monografia de Conclusão de

Curso de Especialização

**ORIENTADORA: Prof. Dra. Tatiana Diniz Gonçalves**

BRASÍLIA – DF

2015



**Universidade de Brasília**

**Instituto de Geociências**

**CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO  
AMBIENTAL**

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental, na  
Área de Influência Direta do Ramal do Agreste  
e nos cursos hídricos intermitentes e efêmeros  
interceptados por este empreendimento  
utilizando o método AHP e técnicas de  
geoprocessamento.**

**Davi Tadeu Borges Marwell**

Monografia de Conclusão de

Curso de Especialização

**ORIENTADORA: Prof. Dra. Tatiana Diniz Gonçalves (IG/UnB)**

BRASÍLIA – DF

2015



**Universidade de Brasília**

**Instituto de Geociências**

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental, na  
Área de Influência Direta do Ramal do Agreste  
e nos cursos hídricos intermitentes e efêmeros  
interceptados por este empreendimento  
utilizando o método AHP e técnicas de  
geoprocessamento.**

**Davi Tadeu Borges Marwell**

Monografia de Conclusão de

Curso de Especialização

**ORIENTADORA: Prof. Dra. Tatiana Diniz Gonçalves (IG/UnB)**

**COMISSÃO JULGADORA**

**Prof. Dr. Edilson Souza Bias**

---

**Prof. Dr. Cláudio Tavares Viana Teza**

---

BRASÍLIA – DF

2015

## **AGRADECIMENTOS**

A minha esposa pelo apoio incondicional.

Aos meus pais, por tudo.

A minha orientadora TATIANA DINIZ GONÇALVES pelos ensinamentos repassados e pela dedicação e profissionalismo a mim dispensados.

Aos professores e monitores do curso.

Ao SÉRGIO PAULO BRITO por solucionar todos os problemas operacionais e burocráticos.

Aos companheiros de trabalho, JULIO CÉSAR SEBATIANI KUNZLER e WESLEY DE ANDRADE VILELA.

Ao MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL pelo apoio financeiro.

## **RESUMO**

A análise da vulnerabilidade ambiental tem se mostrado uma importante ferramenta no planejamento e na gestão do território, bem com na definição de medidas mitigadoras no processo de licenciamento ambiental de obras de infraestrutura. Diante disso, esse trabalho tem como principal objetivo diagnosticar as áreas de vulnerabilidade ambiental da área de influência direta do Ramal do Agreste e avaliar os efeitos desse empreendimento nos cursos hídrico interceptados. Para tanto, foi utilizada a metodologia de análise multicritério por meio da técnica AHP para a definição dos pesos na álgebra de mapas. Considerou-se nessa análise os mapas de uso e ocupação do solo, de declividade, de geologia, de pedologia e de sub-bacias interceptadas. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios, sendo apresentadas as áreas de maior vulnerabilidade natural e identificadas as regiões mais críticas do ponto de vista ambiental, nas quais cursos hídricos interceptados pelo Ramal do Agreste estão inseridos. Portanto, essa avaliação permitiu a apresentação de uma alternativa preliminar para separação dos cursos hídricos efêmeros e intermitentes considerando os aspectos antrópicos e as características naturais da região.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade Ambiental, Método AHP, Análise Multicritério, Álgebra de Mapas, Ramal do Agreste.

## **ABSTRACT**

Environmental vulnerability analysis has been an important tool in planning and land management, as well as the definition of mitigation measures in the environmental licensing process for infrastructure projects. Thus, this work aims to diagnose the areas of environmental vulnerability of the direct influence area of Ramal do Agreste and evaluate the effects of this enterprise in the water courses. For this, the multi-criteria analysis methodology was used through the AHP technique to define the weights on map algebra. This analysis considers maps of use and occupation of land, slope, geology, type of soil and intercepted watersheds. The results were considered satisfactory, and included the areas of greatest natural vulnerability and identified the most critical areas from environmental view in which water resources intercepted by Ramal do Agreste are inserted. Therefore, this assessment leads the presentation of an initial alternative to separate the ephemeral and intermittent water resources considering the anthropic aspects and the natural characteristics of the region.

**Keywords:** Environmental vulnerability, AHP Method, Multi-criteria Analysis, Map Algebra, Ramal do Agreste

# SUMÁRIO

<b><u>1- INTRODUÇÃO .....</u></b>	<b><u>8</u></b>
1.1 OBJETIVOS .....	9
1.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	10
<b><u>2- DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</u></b>	<b><u>11</u></b>
2.1 - SEPARAÇÃO DOS CURSOS D'ÁGUA INTERMITENTES E EFÊMEROS.....	12
2.2 - DEFINIÇÕES E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	14
<b><u>3- MATERIAL E MÉTODOS.....</u></b>	<b><u>14</u></b>
3.1 - MÉTODO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP).....	15
3.2 - UTILIZAÇÃO DAS IMAGENS RAPIDEYE E POTENCIALIDADES DO NDVI.....	21
<b><u>4- RESULTADOS.....</u></b>	<b><u>23</u></b>
<b><u>5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</u></b>	<b><u>31</u></b>
<b><u>6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</u></b>	<b><u>33</u></b>

## 1- INTRODUÇÃO

A utilização de técnicas de geoprocessamento tem se mostrado uma ferramenta importante tanto para a análise de impactos ambientais como para avaliação de viabilidade ambiental exigidos no Licenciamento Ambiental de empreendimentos considerados de alto impacto ao meio ambiente. Essas técnicas e ferramentas também são relevantes para elaboração de análises mais objetivas e seguras, de forma a minimizar os aspectos subjetivos nos estudos ambientais.

A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o conjunto de processo e condições resultantes de fatores físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais determinam quanto uma comunidade ou elemento em risco estão susceptíveis ao impacto dos eventos perigosos (ONU 2004). Portanto, a vulnerabilidade do ambiente é maior quanto este está sujeito a um impacto potencial mais acentuado provocado, por exemplo, pelo uso antrópico.

A avaliação da vulnerabilidade ambiental é fundamental para o suporte à decisão no planejamento territorial, na identificação de corredores ecológicos, na definição do zoneamento ecológico-econômico e no fornecimento de subsídios à gestão do território. (Crepani *et al.* 2001); (Spörrl e Ross 2004); (Silva e Nunes 2009) e (Dias 2012).

Outra ferramenta bastante utilizada no planejamento e na gestão do território, com o objetivo de determinação de áreas frágeis do ponto de vista ambiental, é o processamento digital de imagens de satélites. A utilização de imagens de satélites, como a imagem RapidEye, possibilita a identificação de áreas críticas considerando o aspecto ambiental, permitindo diferenciar, com boa precisão, as áreas com vegetação nativa e preservadas das áreas degradadas, com solo exposto ou desmatadas. Dessa forma, o uso dessas imagens permite a tomada de decisões no planejamento e na gestão da paisagem, de forma a garantir que as atividades de ocupação sejam coerentes com o desenvolvimento sustentável do município (Moura *et al.* 2013).

Combinado às técnicas de geoprocessamento, a aplicação de métodos multicritérios e multiobjetivos é também um aspecto importante no suporte à decisão, no planejamento territorial e dos recursos hídricos. Esses métodos permitem uma



análise sistêmica do meio, incluindo os aspectos ambientais, técnicos e econômicos. (Zuffo *et al.* 2013)

Um método multicritério e multiobjetivo bastante utilizado em análises ambientais é o Método Analítico Hierárquico - AHP (Analytic Hierarchy Process) ou Análise Hierárquica Processual, apresentada por SAATY em 1977, que consiste em uma modelagem dos dados por meio de níveis hierárquicos em uma avaliação geral dos critérios envolvidos no processo analítico. Esse processo contribui para atenuar a subjetividade especialmente das análises ambientais, obtendo uma avaliação mais técnica na quantificação dos atributos naturais relacionado à fragilidade ambiental.

Diante disso, o presente trabalho tem com principal objetivo elaborar um diagnóstico da vulnerabilidade ambiental na Área de Influência Direta do Ramal do Agreste, localizado no Agreste Pernambucano. Espera-se ainda, avaliar a interferência nos principais cursos hídricos intermitentes e efêmeros interceptados pelo empreendimento. Nesta análise serão utilizadas técnicas de geoprocessamento para classificação da área, bem como o método AHP para determinação do mapa de vulnerabilidade. Serão analisados dos dados geológicos, pedológicos, área de drenagem interceptada, declividade e uso e ocupação da região de estudo.

## **1.1 Objetivos**

### **Objetivo Geral**

Análise da vulnerabilidade ambiental do Ramal do Agreste com base no método AHP e técnicas de geoprocessamento.

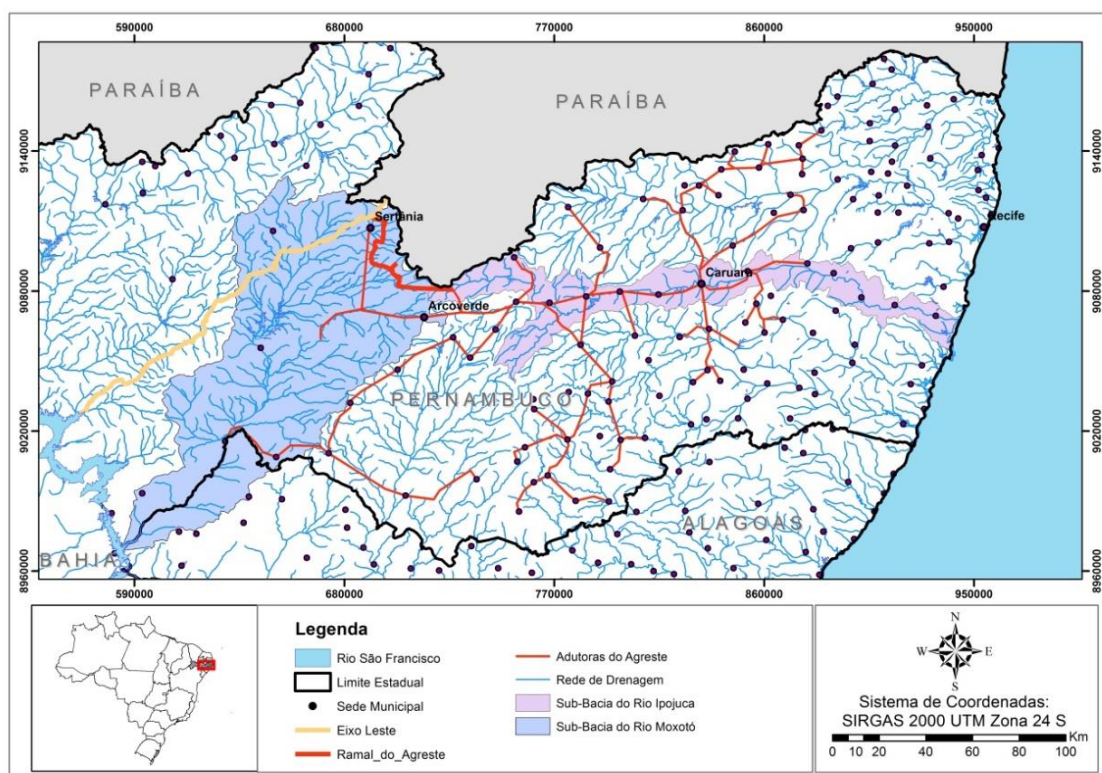
### **Objetivos específicos:**

- Comparar a classificação da vegetação obtida a partir da imagem RapidEye com o resultado obtido pelo Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI);
- Identificar as áreas mais vulneráveis da Área Diretamente Afetada do Ramal do Agreste;
- Identificação dos corpos hídricos intermitentes e efêmeros interceptados pelo Ramal do Agreste.

## 1.2 Localização da Área

A região estudada no presente trabalho é a Área de Influência Direta (AID) do Ramal do Agreste, com cerca de 460 Km<sup>2</sup>, inserida nos municípios de Sertânia e Arcoverde, ambos no estado de Pernambuco. Esta região foi definida por uma faixa de 5 Km, sendo 2,5 Km para cada lado dos trechos das obras do referido Ramal, conforme o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) desse empreendimento.

De acordo com o Estudo de Impacto Ambiental do Ramal do Agreste Pernambucano (BRASIL, 2008), o Ramal do Agreste é um empreendimento de infraestrutura hídrica, com cerca de 69 km, destinado a suprir o déficit hídrico da região do Agreste Pernambucano, sendo constituído por canais, aquedutos, tuneis, uma estação de bombeamento e pequenos reservatórios. O Ramal captará água do Reservatório Barro Branco inserido no Eixo Leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco com o Nordeste Setentrional (PISF) e disponibilizará água ao reservatório Ipojuca que pertence à bacia do Rio Ipojuca, conforme ilustrado no mapa da Figura 1.



**Figura 1:** Mapa de localização o Ramal Agreste.

## **2- DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O Ramal do Agreste está inserido na região do polígono das secas entre o sertão e o agreste pernambucano. As temperaturas médias mensais dessa região apresentam sazonalidade relativamente baixa variando de 20°C a 25°C na estação de Arcoverde, de acordo com os dados do INMET. As precipitações máximas médias variam de 120 a 80 mm nos meses de fevereiro a julho e as mínimas médias variam em torno de 25 a 15 mm. A evapotranspiração média na região varia de 80 a 200 mm. (BRASIL, 2008)

Esse empreendimento foi projetado para a adução de 8m<sup>3</sup>/s e vencer um desnível topográfico de 210 m por meio de uma estação de bombeamento. A distribuição da água proveniente do Ramal será realizada por meio do Sistema Adutor do Agreste, abastecendo com água de boa qualidade cerca de 70 municípios na região do Agreste Pernambuco que fazem parte do Polígono das Secas. A população urbana e rural beneficiada foi estimada em 3,2 milhões de pessoas até o ano 2025. (BRASIL, 2008)

A área de influência direta do Ramal do Agreste está inserida num domínio hidrogeológico fissural formado por rochas do embasamento cristalino da Província da Borborema. O meio aquífero fissural é comumente designado de cristalino ou maciço rochoso, caracterizado pela inexistência ou espaços muito reduzidos intergranulares da rocha, onde o armazenamento de água ocorre apenas nas fraturas ou fendas. A área de estudo é representada por aquíferos fissurais livres, constituídos por rochas ígneas ou metamórficas, com baixa permeabilidade. Em função das condições climáticas da região, caracterizada pelo baixo índice pluviométrico, o processo predominante de intemperismo é o físico o que promove a formação de solos muito rasos. (BRASIL, 2008)

Os aquíferos da região de estudo possuem baixa capacidade de produção, com vazões médias de 3,51m<sup>3</sup>/h, conforme informações dos poços cadastrados nos municípios de Sertânia e Arcoverde. Ademais, a média de sólidos totais dissolvidos é de 1984,5 mg/L, valores bem superiores aos recomendados pela Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde, que define os padrões de potabilidade de água para consumo humano. Dessa forma, a tendência geral do seu uso é para fins domésticos e para atender a demanda animal. (BRASIL, 2008)

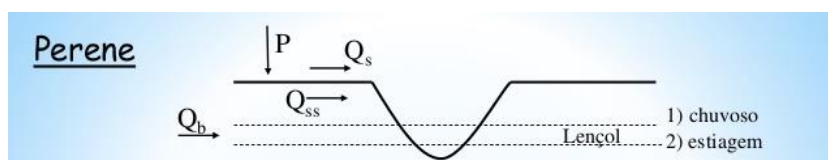
Considerando o objetivo de avaliar os recursos hídricos inseridos na AID do Ramal do Agreste e interceptados por este empreendimento, optou-se nesta etapa abordar a dificuldade na separação dos corpos hídricos intermitentes e efêmeros e a definições de delimitação das Áreas de Preservação Permanentes (APP) na região do semiárido.

## 2.1 - Separação dos cursos d'água intermitentes e efêmeros.

Na implantação de empreendimentos que interceptem as áreas definidas como de Áreas de Preservação Permanente é importante a diferenciação dos tipos de cursos d'água intermitentes e efêmeros, pois isso será determinante da definição dos quantitativos das áreas de reposição e compensação florestal.

Particularmente, o regime pluviométrico do Agreste Pernambucano é muito baixo, com médias anuais entre 500 e 700 mm o que determina que os cursos hídricos nessa região apresentem uma característica de não perenidade, ou seja, durante alguns meses do ano encontram-se totalmente secos. Dessa forma, as regiões inseridas no polígono das secas são bastante vulneráveis considerando a disponibilidade hídrica e o aspecto ambiental.

Segundo Soliman (2013), os cursos d'água podem ser classificados em efêmeros, intermitentes e perenes. Os cursos efêmeros existem quando o nível freático está abaixo do leito do rio, situação que apenas ocorre por algumas horas após uma chuva. Caso a linha freática esteja acima do leito do rio nos períodos das cheias e abaixo do talvegue do rio nos períodos de seca, isso significa que durante os meses chuvosos existem escoamento devido à contribuição do escoamento superficial das águas subterrâneas e, durante os períodos de estiagem, o leito do curso fica seco. Neste caso, os cursos são classificados como intermitentes. No caso dos cursos perenes, o nível freático nunca fica abaixo do leito do rio, mesmo em períodos longos de estiagem. A Figura 2 apresenta de forma esquemática os tipos de cursos d'água.





se definir com clareza as áreas que deverão ser recuperadas conforme Resolução Conama nº 369/2006.

## **2.2 - Definições e delimitação das Áreas de Preservação Permanente**

O Código Florestal Brasileiro foi estabelecido por meio da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dispõem sobre normas gerais referentes às áreas de Preservação Permanente (APP). Ele define como a APP áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

De acordo com o código florestal, a delimitação da APP para áreas urbanas e rurais definida como as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

- a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
- b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
- c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
- d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura; e
- e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros.

## **3- MATERIAL E MÉTODOS**

Esta etapa está dividida em duas partes. A primeira consiste na apresentação o método AHP no contexto da produção do mapa de vulnerabilidade da área de estudo. A segunda abordará o processo de classificação utilizando de imagens RapidEye e as potencialidades do NDVI.

### 3.1 - Método Analítico Hierárquico (AHP)

O método AHP desenvolvido por Thomas L. Saaty, na década de 70, e consiste na criação de uma hierarquia de decisão, sendo essa hierarquia composta por níveis que permitem uma visão global das relações inerentes ao processo. Para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes de comparação para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si.

O modelo analítico hierárquico é um processo de escolha baseada na lógica de comparação par a par (pairwise comparison), em que diferentes fatores que influenciam na tomada de decisão são organizados hierarquicamente, comparados entre si, e um valor de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores, conforme uma escala pré-definida, a qual expressa a intensidade de predominância de um fator sobre outro, em relação à tomada de decisão. (Silva & Nunes 2009)

O modelo matemático AHP proposto por Saaty (1977) é composto por três etapas. Primeiramente, deve-se estruturar os critérios para a hierarquização dos atributos escolhidos. Nesta etapa são definidos os critérios que serão utilizados na avaliação multiobjetiva.

Em seguida, após a definição dos critérios, estruturam-se os atributos numa matriz para obter uma comparação par a par dos atributos com base numa escala pré-definida de importância de 1 a 9 de um em relação ao outro atributo. Considera-se 1 o valor mínimo de importância e 9 o máximo de importância de um fator sobre o outro, conforme apresentado na Tabela 1 adaptada de Saaty (1977). Dessa forma, a matriz resultante define o grau de superioridade dos critérios das linhas em relação aos critérios das colunas.

Por último, deve-se verificar a consistência das preferências em função do valor da razão de consistência que varia entre zero e um, onde zero indica a completa consistência do processo de julgamento. Com essas etapas completas é possível determinar a importância relativa de cada alternativa em relação ao objetivo maior.

**Tabela 1:** Escala de importância de atributos adaptada de Satty (1977)

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância Equiparada	Contribuição equiparada para o objetivo
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro
5	Importância Forte	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro
7	Importância Muito Forte	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Absoluta	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro
2,4,6,8	Valores intermediários entre dois julgamentos sucessivos	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos

A Razão de Consistência (*RC*), de acordo com Saaty (1977), deve apresentar valor menor que 0,10, ou seja, o resultado desta razão deve ser menor que 10 %. O cálculo da Razão de Consistência (*RC*) consiste na divisão do Índice de Consistência (*IC*) pelo Índice Randômico, obtido pela Tabela 2 considerando matrizes quadradas de ordem (*n*).

**Tabela 2:** Índice Randômico (*IR*) definido para matrizes quadradas de ordem (*n*), adaptado de Satty (1977).

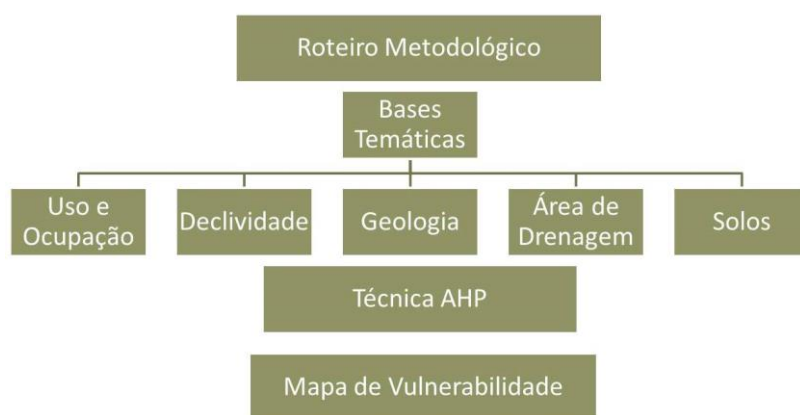
<i>N</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>IR</i>	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

O método possui diversas aplicações, destacando-se o planejamento de recursos hídricos considerando uma visão ecossistêmica por meio de uma análise multicriterial, e o mapeamento da vulnerabilidade ambiental numa análise integrada para suporte à decisão (Zuffo *et al.* 2002), (Silva & Nunes 2009).

A construção do mapa de vulnerabilidade foi realizada utilizando o mapa de Uso e Ocupação que é um fator de risco que influencia o impacto ponderado pela vulnerabilidade. Além disso, combinaram-se os mapas de Geologia, Área de drenagem



interceptada, Solos e Declividade da área de estudo por meio da técnica AHP, conforme roteiro metodológico apresentado da Figura 3. A definição dos pesos do método AHP foram obtidos a partir da análise dos resultados dos trabalhos de Feitosa e Manoel (1997) e Crepani *et al.* (2001).



**Figura 3:** Roteiro para construção do Mapa de Vulnerabilidade

O mapa de Geologia da região foi construído a partir dos mapas de litologia dos municípios de Sertânia e Arcoverde na escala de 1:100.000 disponíveis o site do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A escala de vulnerabilidade para o mapa de geologia foi estabelecida como base no resultados do trabalho de Crepani *et al.* (2001), o qual a escala de denudação das rochas mais comuns provocada pelo intemperismo e erosão onde a água é o agente principal, conforme a Tabela 3.

**Tabela 3:** Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns. Crepani *et al.* (2001)

Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita, xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granjto, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibiólito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremolita, Actinolita, xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina, Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassilito	2, 1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Considerou-se ainda na definição dos pesos para o critério Geologia, de acordo com Feitosa e Manoel (1997), a avaliação relacionada à potencialidade de armazenamento nas fraturas dos principais tipos de rochas cristalinas ígneas, cristalofilianas (metamórficas orientadas) e cornubianíticas (metamórficas não orientadas), apresentando o potencial de armazenamento decrescente da seguinte forma:

- Pegmatito;
- Gnaisses, migmatitos (epibolíticos), quartizitos e cataclasitos;
- Micaxistos e calcários cristalinos (mármore);
- Granitos, dioritos, sienitos, gabros, migmatitos homogêneos;
- Ardósia, filito, sericita-xisto

Na definição da escala de vulnerabilidade para o potencial de armazenamento das rochas cristalinas considerou-se que quanto menor o potencial, maior será o grau de vulnerabilidade das rochas cristalinas. Assim, a Tabela 4 apresenta o resultado dessa análise para o critério Geologia, considerando o grau de importância entre as classes ou alternativas de rochas presentes na AID o Ramal do Agreste.

**Tabela 4:** Pesos relativos à Geologia na AID do Ramal do Agreste na escala de Saaty (1977).

<b>Geologia</b>	<b>Escala de Vulnerabilidade</b>
Q12a	9
NP1_gamma	8
PP2fl	7
PP3pa e MP_gamma	4
PP2se e NP3_gamma	1

Em que:

PP2se: Complexo Sertânia (gnaisse, metacarbonato, quartzito, metavulcânica máfica 2100 Ma U-Pb)

PP3pa: Complexo Pão de Açúcar (Ortognaisse tonalítico a granítico, migmatito e lentes de anfibolito)

PM\_gamma\_c: Suíte Camalaú (ortognaisse tonalítico-trondhjemítico a granítico e migmatito)

PP2fl: Complexo Floresta (ortognaisse tonalítico a granodioridiorítico, migmatito, magnetita-grunerita xisto e gondito 2150 Ma U-Pb)

NP3\_gamma\_i : Granitoides indiscriminados

NP1\_gamma\_cv e NP1\_gamma\_rt: Complexo cariri velho (ortognaisse e granito) e Complexo Riacho do Tigre (biotita e gnaisse)

Q12a: Depósitos colúvios-eluviais (sedimento arenoso)

O grau de vulnerabilidade foi definido a partir análise da cobertura do solo, sendo as classes mais vulneráveis aquelas que apresentam menor cobertura de vegetação ou vegetação distribuída de forma esparsa no terreno ou sujeitas ao risco maior, como o caso das áreas urbanas. A Tabela 5 apresenta os pesos atribuídos para cada classe temática e o peso relativo entre elas.

**Tabela 5:** Pesos relativos ao Uso e Ocupação na AID do Ramal do Agreste na escala de Saaty (1977)

Uso e Ocupação	Escala de Vulnerabilidade
Vegetação Ciliar / Lâmina d'água / Agricultura / Área Urbana	9
Caatinga Herbácea / Agropecuária / Solo exposto	7
Caatinga Arbustiva Arbórea	5
Caatinga Arbórea	3

No caso do mapa de declividade, definiram-se cinco faixas de declividade cujos pesos das classes foram ponderados considerando as áreas mais vulneráveis, aquelas que apresentaram declividade mais acentuada. Esta escolha baseou-se na relação entre a declividade e a velocidade de escoamento superficial, atribuindo aos trechos com declividade mais energia ao escoamento e com isso, aumentando a possibilidade produção de erosões no terreno. Considerando os valores de vulnerabilidade propostos por Crepani *et al.* (2001) e apresentados na Tabela 6, definiu-se o peso relativo às classes de declividade e a relação entre elas para a AID do Ramal do Agreste, conforme observado na Tabela 7.

**Tabela 6:** Escala de vulnerabilidade com relação à declividade em graus e porcentagem. Crepani et al. (2001).

Declividade		Vuln./ Estab	Declividade		Vuln./ Estab	Declividade		Vuln./ Estab
Graus	Porcentagem		Graus	Porcentagem		Graus	Porcentagem	
<2	<3,5	1,0	9,9 - 11,2	17,4 - 19,8	1,7	19,1 - 20,4	34,6 - 37,2	2,4
2 - 3,3	3,5 - 5,8	1,1	11,2 - 12,5	19,8 - 22,2	1,8	20,4 - 21,7	37,2 - 39,8	2,5
3,3 - 4,6	5,8 - 8,2	1,2	12,5 - 13,8	22,2 - 24,5	1,9	21,7 - 23,0	39,8 - 42,4	2,6
4,6 - 5,9	8,2 - 10,3	1,3	13,8 - 15,2	24,5 - 27,2	2,0	23,0 - 24,4	42,4 - 45,3	2,7
5,9 - 7,3	10,3 - 12,9	1,4	15,2 - 16,5	27,2 - 29,6	2,1	24,4 - 25,7	45,3 - 48,1	2,8
7,3 - 8,6	12,9 - 15,1	1,5	16,5 - 17,8	29,6 - 32,1	2,2	25,7 - 27	48,1 - 50	2,9
8,6 - 9,9	15,1 - 17,4	1,6	17,8 - 19,1	32,1 - 34,6	2,3	> 27	> 50	3,0

**Tabela 7:** Pesos relativos à declividade na AID do Ramal do Agreste na escala de Saaty (1977).

Declividade (%)	Escala de Vulnerabilidade
acima de 30	9
30 a 20	7
20 a 12	5
12 a 6	3
abaixo de 6	1

Na categoria solos, o grau de vulnerabilidade levou em consideração o aspecto da estabilidade, bem como, o grau de intemperismo, a profundidade e a porosidade dos solos. Dessa forma, consideraram-se menos vulneráveis os solos bem desenvolvidos ou solos cujos materiais são mais decompostos, denominados solos velhos ou maduros (Crepani *et. al.*, 2001). A Tabela 8 apresenta os pesos na escala de Saaty (1977) para os tipos de solos presentes na AID do Ramal do Agreste.

**Tabela 8:** Pesos relativos à declividade na AID do Ramal do Agreste na escala de Saaty (1977).

Solos	Escala de Vulnerabilidade
RLe	9
MTo / SXe	5
Pvae / RRe	3
Rybe	1

Em que:

Rybe: Neossolo Flúvico, eutrófico típico, textura argilosa e média;

MTo: Luvisso solo Crômico típico ou vértico, fase epipedregosa + Neossolo Litólico eutrófico de textura média cascalhenta e fase pedregosa;

Pvae: Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico ou distrófico típico, textura média/média e média/argilosa relevo suave ondulado + Luvisso solo Crômico, fase pedregosa e não pedregosa relevo ondulado;

RLe: Neossolo Litólico eutrófico e distrófico típico, textura média cascalheira, fase pedregosa e rochosa;

SXe: Plano Solo eutrófico típico, textura arenosa e média/média e argilosa, relevo suave ondulado + Luvisso solo fase pedregosa + Neossolo média cascalheira;

RRe: Neossolo Regolítico eutrófico e distrófico, textura arenosa cascalhenta e média cascalhenta + Planossolo textura arenosa.

A última categoria inserida na análise da vulnerabilidade ambiental da AID do Ramal do Agreste foi a área de drenagem interceptada pelo empreendimento. A área de drenagem inclui todos os talwegues presentes nas áreas analisadas. Dessa maneira,

atribuiu-se maior vulnerabilidade as regiões que apresentaram maiores sub-bacias interceptadas pela AID do Ramal. As áreas das sub-bacias interceptadas foram divididas em cinco classes, conforme apresentado na Tabela 9.

**Tabela 9:** Pesos relativos à área de drenagem na AID do Ramal do Agreste na escala de Saaty (1977).

Área de Drenagem (Km <sup>2</sup> )	Escala de Vulnerabilidade
Acima de 52	9
52 a 27	7
27 e 14	5
14 e 8	3
Abaixo de 8	1

Para construção do mapa de vulnerabilidade, definiu-se uma escala coroplética em intervalos iguais conforme apresentado na Tabela 10. Essa escala permite a definição clara do intervalo de classes temáticas e a definição do grau de vulnerabilidade da Área de Influência Direta do Ramal do Agreste.

**Tabela 10:** Legenda da escala de vulnerabilidade aplicada na ponderação entre as classes dos mapas temáticos.

Muito Fraca	Fraca	Média	Alta	Muito Alta
0 a 2	2 a 4	4 a 6	6 a 8	8 a 10

### 3.2 - Utilização das imagens RapidEye e potencialidades do NDVI

Uma das potencialidades do uso de imagens de satélites é criação de mapas de uso e ocupação do solo a partir da classificação de imagem por meio de softwares específicos. No presente trabalho, o mapa temático de uso e ocupação da Área de Influência Direta do Ramal do Agreste foi obtido por meio da interpretação da imagem RapidEye.

O satélite do sistema RapidEye possuem características diferenciadas que abrangem aspectos como: cobertura de extensas áreas, alta resolução e capacidades multiespectrais. Ademais, as imagens podem ser obtidas gratuitamente por órgãos públicos e universidades, por meio de convênio com o Ministério do Meio Ambiente.

As imagens RapidEye possuem resolução radiométrica de 12 bits e dispõem de cinco bandas espectrais – Azul, Verde, Vermelho, Red-Edge e Infravermelho Próximo. Cada banda possui um alcance do comprimento de onda, conforme a tabela a seguir:

**Tabela 11:** Comprimento de Onda das Bandas Espectrais

	<b>Banda Espectral</b>	<b>Comprimento de Onda (µm)</b>
<b>1</b>	Azul	440 a 510
<b>2</b>	Verde	520 a 590
<b>3</b>	Vermelho	630 a 685
<b>4</b>	Red-Edge	690 e 730
<b>5</b>	Infravermelho próximo	760 a 850

O produto RapidEye Ortho – Level 3A apresenta resolução espacial de 5m, além de correções radiométrica, geométrica e do sensor aplicados às cenas. Os produtos são distribuídos em 16 bits e apresentam cenas de 25 x 25 km, o que representam uma matriz de 5000 linhas por 5000 colunas (Blackbridge, 2015).

De acordo com Felix *et al.* 2009, a potencialidade da utilização da banda Red-Edge, inserida entre o vermelho e o infravermelho próximo, é medição das variações na vegetação, o que possibilita a diferenciação entre espécies e avaliação das condições da vegetação (Blackbridge, 2015).

A composição colorida obtida a partir da imagem RapidEye proporciona a obtenção de resultados que permitem a identificação de áreas de risco, passíveis de intervenção, as quais devem ser preservadas. Além disso, possibilitam o monitoramento de áreas vegetadas com objetivo de controlar as atividades antrópicas capazes de prejudicar o meio ambiente. A combinação de bandas adequadas proporciona tanto uma razoável diferenciação dos cursos d'água, das áreas de solo exposto e de ocupação urbana quanto a diferenciação entre os níveis de cobertura vegetal, o que permite diversas aplicações no planejamento territorial e facilita a avaliação e a escolha das classes do mapa de uso e ocupação do solo (Moura *et al.* 2013).

Para avaliação da cobertura vegetal, bem como da evolução do seu estado fisiológico ao longo do tempo e do estresse hídrico, usualmente utiliza-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). De acordo com Tsuyuguchi *et al.* 2010,

esse é um índice capaz de refletir a magnitude do estresse hídrico apresentado pela vegetação.

De acordo com Santos *et. al*, (2008) e Poelking *et. al*, (2007), a análise da densidade da cobertura vegetal e sua distribuição espacial a partir do cálculo do NDVI, é útil aos estudos relacionados com análise ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo no espaço agrário, entre outras finalidades. O NDVI é um dos mais aceitos índices para o diagnóstico da cobertura vegetal utilizando o sensoriamento remoto orbital.

Ponzoni e Shimabukuro (2007) explica que o índice NDVI consiste na razão entre a diferença dos valores refletidos da banda do infravermelho próximo (0.78-0.90µm) e da banda do vermelho (0.63–0.69 µm) pela soma dos mesmos valores. Como resultado, os valores digitais variam entre -1 e +1, sendo que os positivos relacionam-se às áreas com maiores quantidades de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto que os negativos representam áreas não fotossintéticas ou sem vegetação. Além disso, esse índice está associado a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar.

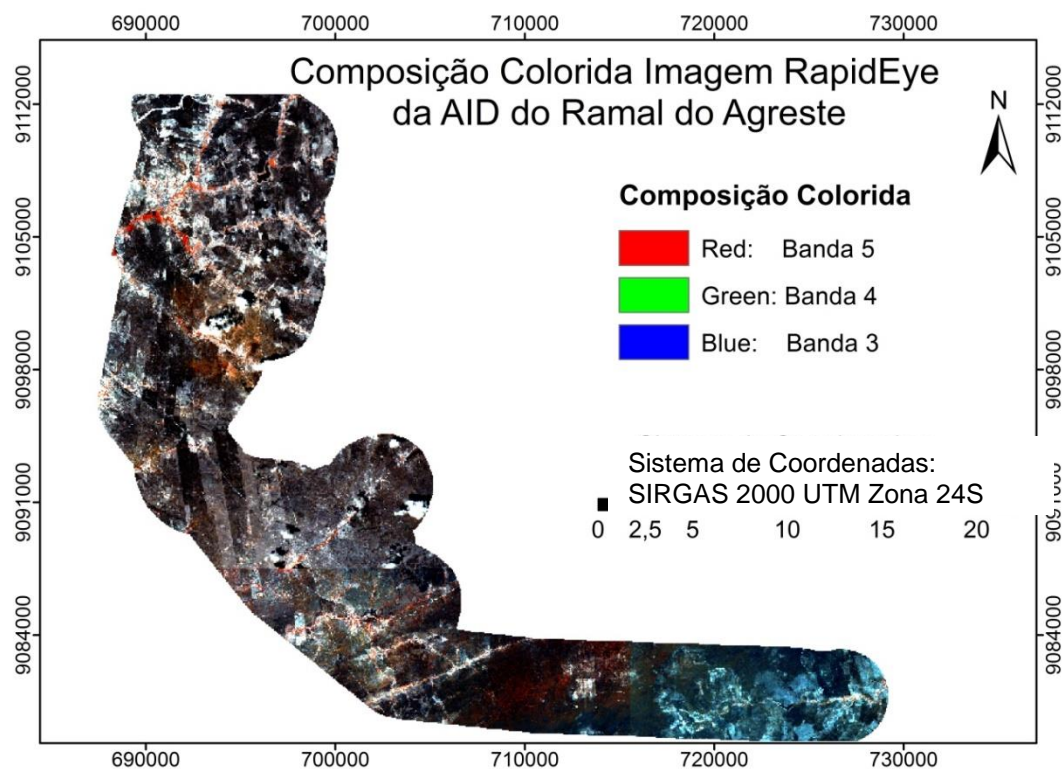
$$NDVI = \frac{\text{Banda infravermelho} - \text{Banda vermerlho}}{\text{Banda infravermelho} + \text{Banda vermerlho}}$$

O NDVI foi utilizado neste trabalho para validar o resultado da classificação do mapa de uso e ocupação o qual foi obtido a partir do processamento da imagem RapidEye. O objetivo dessa avaliação foi comparar os valores de NDVI mais próximos de 1 com as regiões que apresentam presença de vegetação mais fotossinteticamente ativa, bem como, com as áreas com presença de vegetação mais esparsas e também áreas com solo exposto.

#### **4- RESULTADOS**

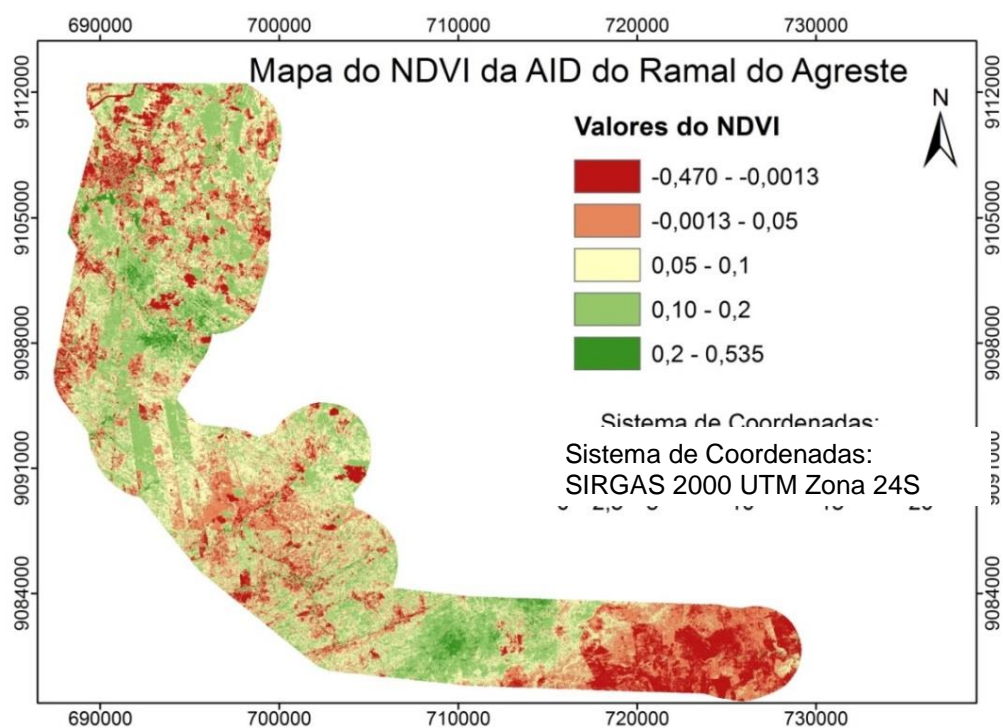
O mapa de uso e ocupação foi elaborado utilizando-se o mosaico resultante da junção das imagens RapidEye da área de estudo. Primeiramente, adotou-se a composição colorida R(5)G(4)B(3) com o objetivo de realçar as áreas com vegetação fotossinteticamente ativa e comparar com o mapa obtido a partir do cálculo do NDVI. O

resultado dessa composição é apresentado na Figura 4. Essa análise foi importante para o conhecimento inicial da região e para definição da escolha das classes temáticas.



**Figura 4:** Resultado da composição colorida para a AID Ramal Agreste.

A Figura 5 apresenta o resultado do NDVI divididos em classes, o que permite uma avaliação preliminar da vegetação na área de estudo.

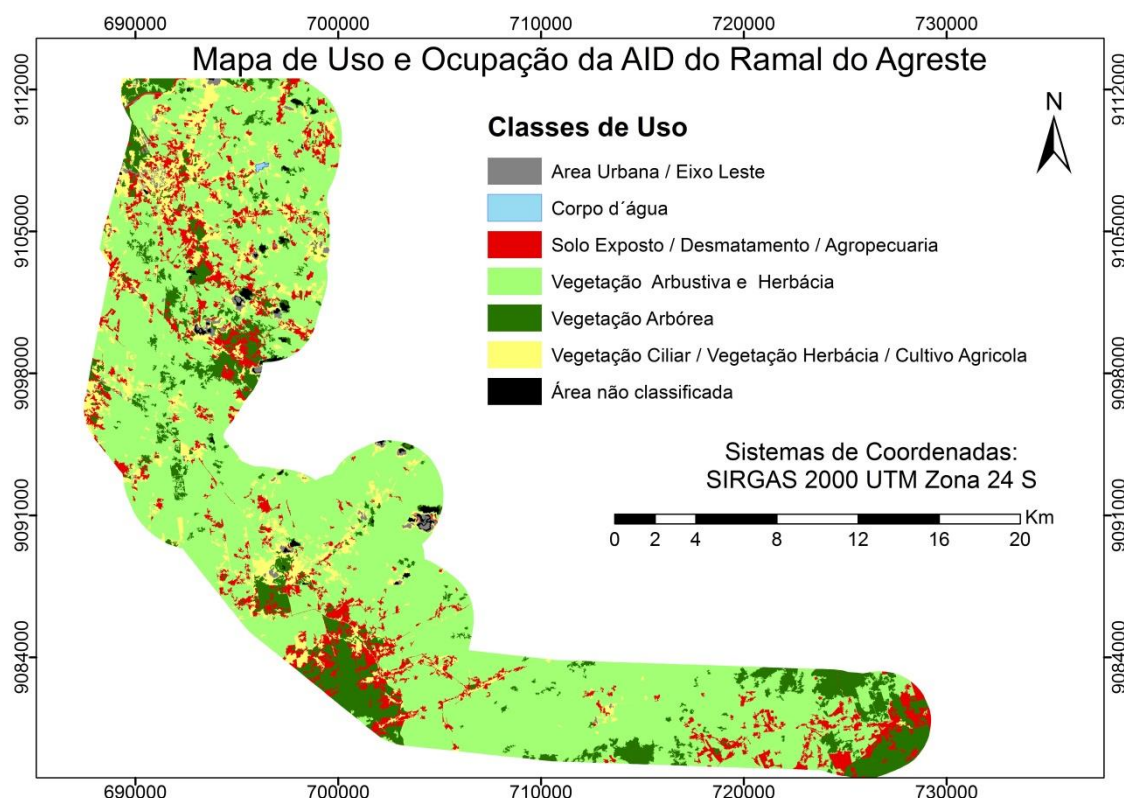


**Figura 5:** Resultado do NDVI para a AID Ramal Agreste.



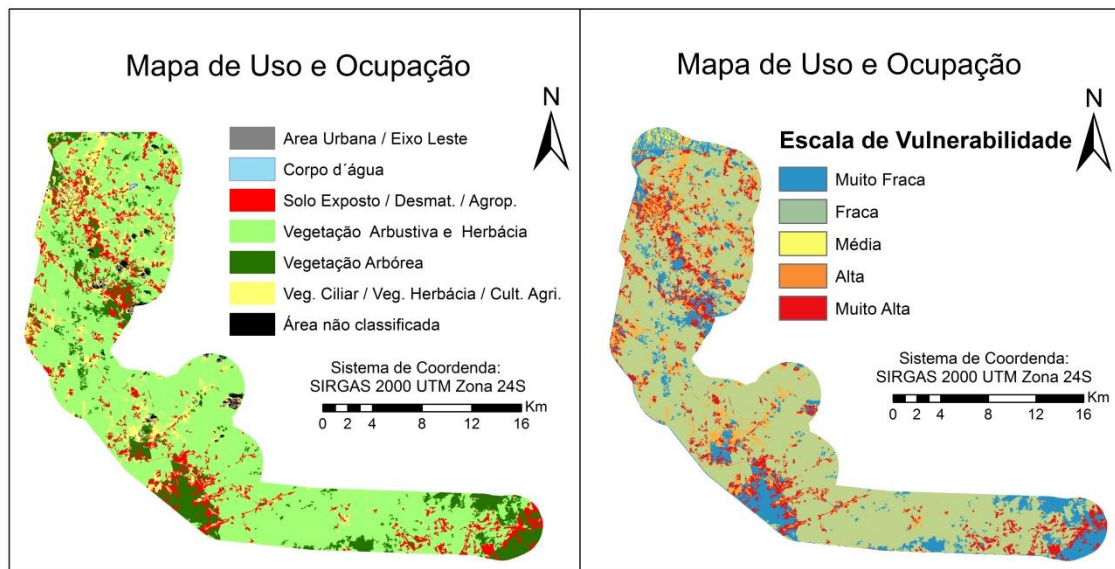
Comparando o resultado do NDVI apresentados na Figura 5 com o mapa de uso e ocupação da AID do Ramal do Agreste na Figura 6, é possível observar uma boa coerência das áreas classificadas com vegetação arbórea, arbustiva e herbácea. Ademais, verifica-se razoável concordância entre as áreas de solo exposto e área urbana com os valores do NDVI.

Após análise do NDVI, utilizou-se um método de classificação não supervisionado disponível no software Spring desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para a definição das classes temáticas do mapa. Esse método consiste no agrupamento dos pixels da imagem por meio do processo de segmentação que permite o agrupamento dos pixels com comportamento espectral semelhante. O classificador utilizado foi o Isoseg com valores de 50 para similaridade e 500 para área. Agrupando-se as classes obtidas nesse processamento foi possível estabelecer seis classes temáticas para o uso e ocupação da AID do Ramal, conforme apresentado na Figura 6.

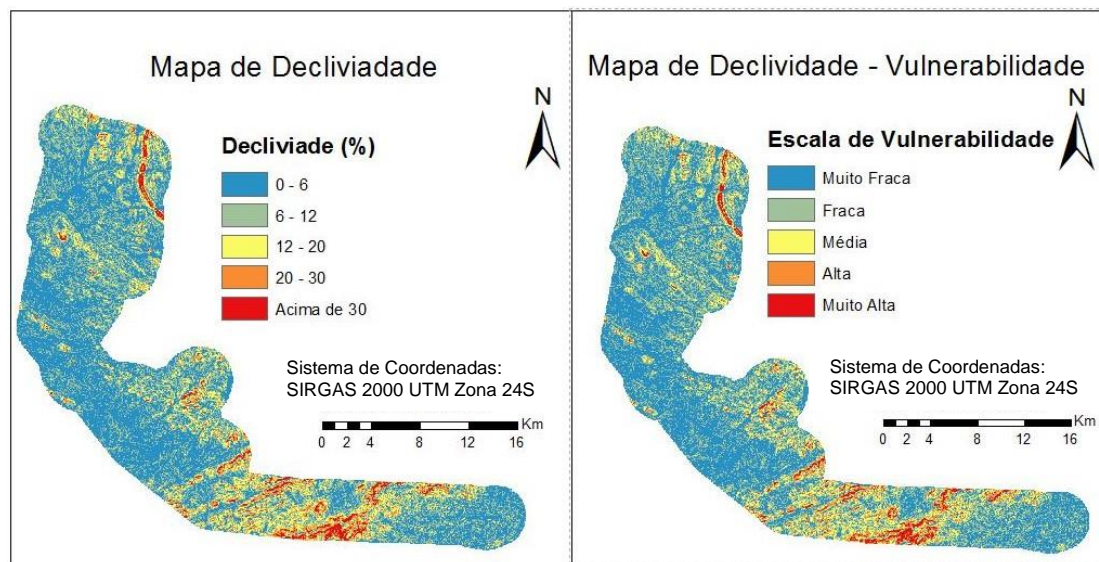


**Figura 6:** Mapa de uso e ocupação da AID Ramal Agreste.

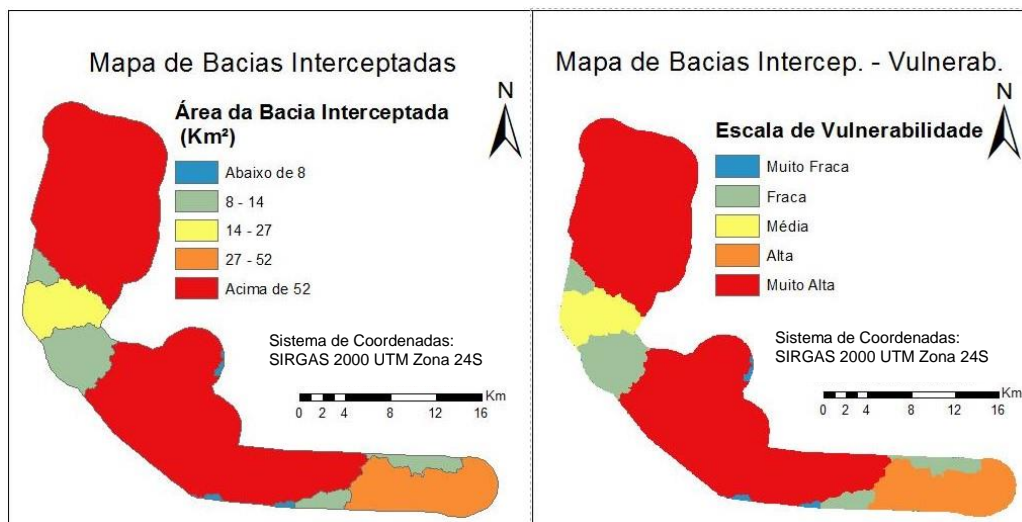
Utilizando o método AHP e a escala de vulnerabilidade descrita na metodologia do presente trabalho é possível reclassificar os mapas temáticos a partir da normalização dos atributos de cada tema por meio da escala de vulnerabilidade. Os resultados da aplicação desse método são apresentados nas Figuras 7, 8, 9, 10 e 11 a seguir:



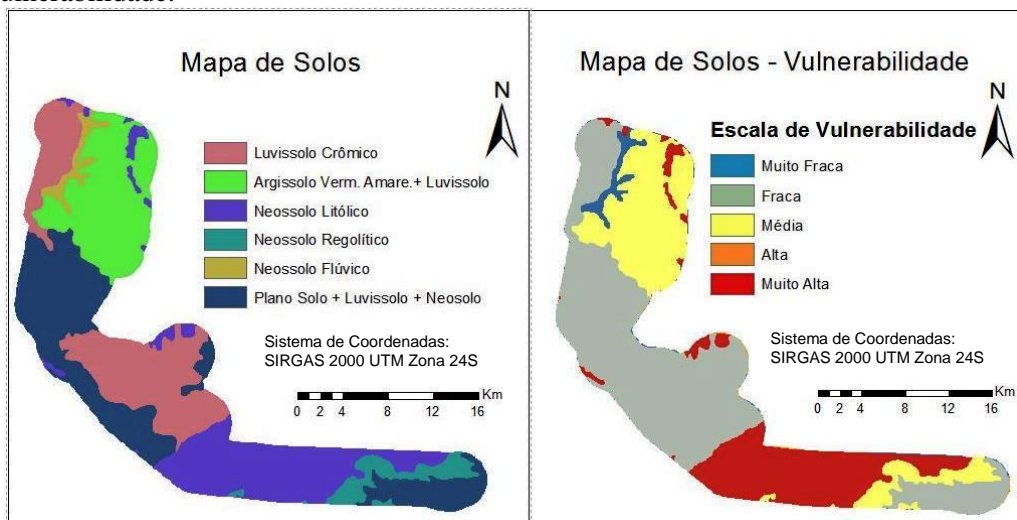
**Figura 7:** Mapa de uso e ocupação da AID Ramal Agreste reclassificado segundo escala de vulnerabilidade.



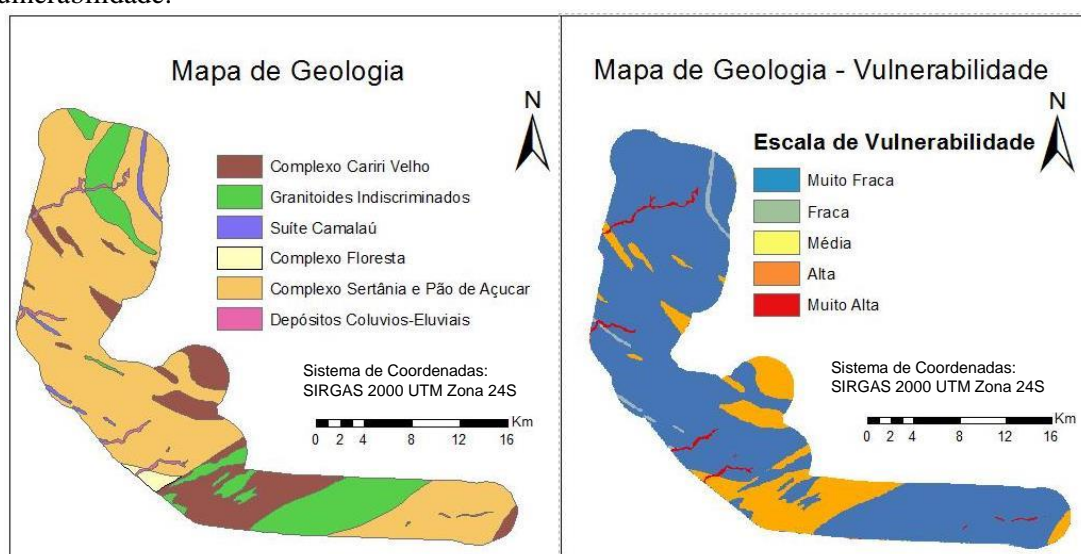
**Figura 8:** Mapa de Declividade da AID Ramal Agreste e reclassificado segundo escala de vulnerabilidade.



**Figura 9:** Mapa de Bacias Interceptadas pela AID Ramal Agreste reclassificado segundo escala de vulnerabilidade.



**Figura 10:** Mapa de Solos da AID Ramal Agreste reclassificado segundo escala de vulnerabilidade.



**Figura 11:** Mapa de Geologia da AID Ramal Agreste reclassificado segundo escala de vulnerabilidade.

Os pesos calculados por meio do método AHP para os critérios de análises adotados para construção do mapa de vulnerabilidade são mostrados na Tabela 11. Considerando os valores apresentados, verifica-se que o critério mais importante na definição do mapa de vulnerabilidade foi o uso e ocupação da área de influência do Ramal do Agreste, seguido da declividade da região. Essa escolha baseou-se principalmente na susceptibilidade a erosão do terreno. Consequentemente, os critérios que mais influenciaram esta análise são a cobertura do solo e a declividade do terreno.

**Tabela 11:** Pesos calculados utilizando o método AHP

<b>Crítérios Adotados</b>	<b>Pesos</b>
Uso e Ocupação da AID	0,468
Declividade	0,241
Área de Drenagem	0,162
Pedologia	0,090
Geologia	0,039

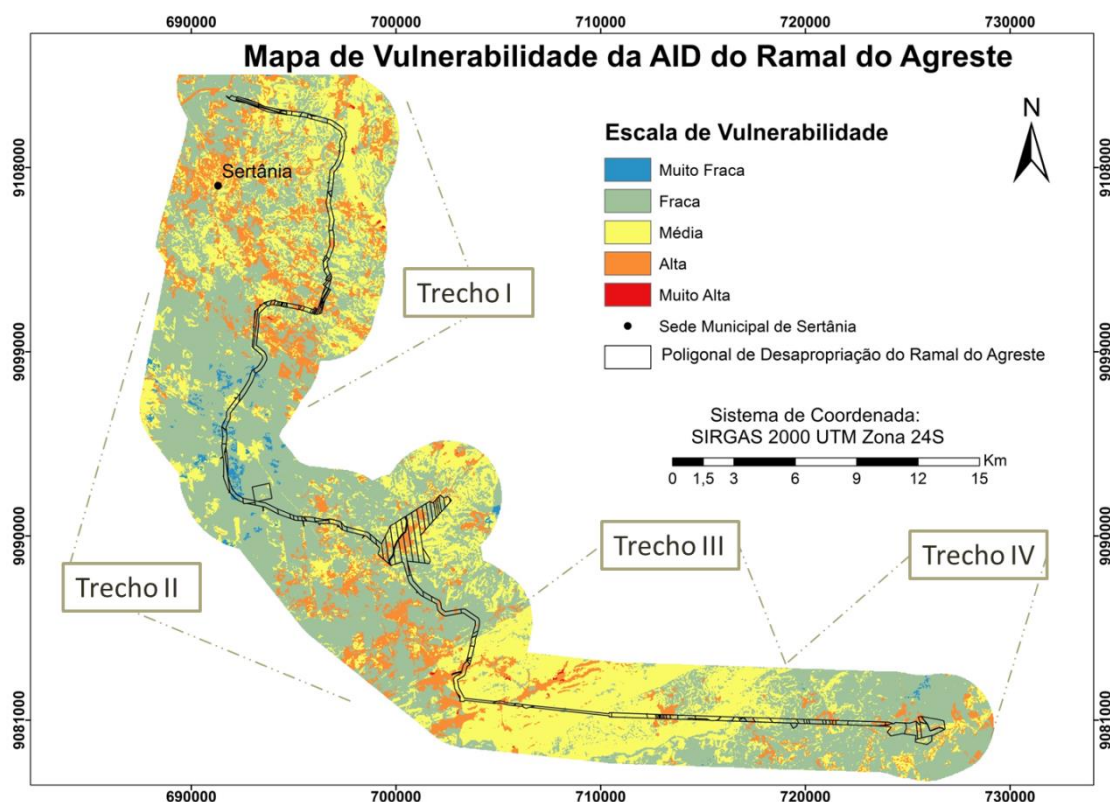
O critério Área de Drenagem recebeu um peso intermediário, porém ficou acima dos critérios Pedologia e Geologia a fim de representar a importância dos cursos hídricos interceptados pelo Ramal do Agreste. Por outro lado, os critérios pedológicos e geológicos da região receberam pesos menores por possuírem menos relevância na análise da vulnerabilidade ambiental da área de estudo, quando comparado com outros critérios de análise.

Após a definição dos pesos para os critérios adotados foi calculado o Índice de Consistência (CI) para a obtenção da razão de consistência. O objetivo dessa análise é verificar a consistência no processo de julgamento. O valor de CI calculado com os pesos da Tabela 11 foi 0,0731. Já o índice randômico RI obtido pela Tabela 2 para uma matriz com cinco critérios foi 1,12 e finalmente, o valor da razão de consistência calculada foi 0,0653. De acordo com Satty (1977), como a razão de consistência ficou abaixo de 0,1 verifica-se que os resultados apresentam consistência satisfatória.

O mapa de vulnerabilidade apresentado na Figura 12 foi obtido a partir da utilização do método AHP com os critérios e pesos definidos na Tabela 11. Esse mapa considera também a combinação pareada dos atributos apresentado na metodologia do



presente trabalho, com base na escala de vulnerabilidade dos atributos considerados para cada critério adotado.



**Figura 12:** Mapa de vulnerabilidade da Área de influência do Ramal do Agreste dividido por trechos.

A partir a análise da Figura 12, nota-se que as áreas mais vulneráveis na AID do Ramal do Agreste estão localizadas nas proximidades da cidade de Sertânia e nas regiões com declividades mais acentuadas, respectivamente localizadas nos Trechos I e III. No caso das regiões localizadas nas proximidades da zona urbana de Sertânia, o grau de vulnerabilidade ficou alto, pois essa região possui muitas áreas impermeabilizadas. Além disso, no Trecho I na região, a leste da cidade de Sertânia, é possível verificar o alto grau de vulnerabilidade devido à escassez de cobertura vegetal próximo aos talwegues dos cursos d'água e à utilização de áreas para agropecuária e para o cultivo agrícola, por serem regiões que tendem a apresentar mais umidade no solo.

No Trecho III o grau de vulnerabilidade foi classificado para maior parte das áreas como médio e para algumas áreas como alto. Isso pode ser explicado porque nesse trecho estão inseridas as áreas com maior declividade, como pode ser observado na Figura 8.

As regiões compreendidas nos trechos II e IV no mapa de vulnerabilidade apresentaram menor quantidade de áreas vulneráveis quando comparadas com os trechos I e III. Isso ocorre porque nesses trechos existem áreas com cobertura vegetal do tipo Arbórea e Arbustiva e são regiões mais planas quando comparadas com outros trechos, o que se confirma pela análise do mapa de declividade apresentado na Figura 8.

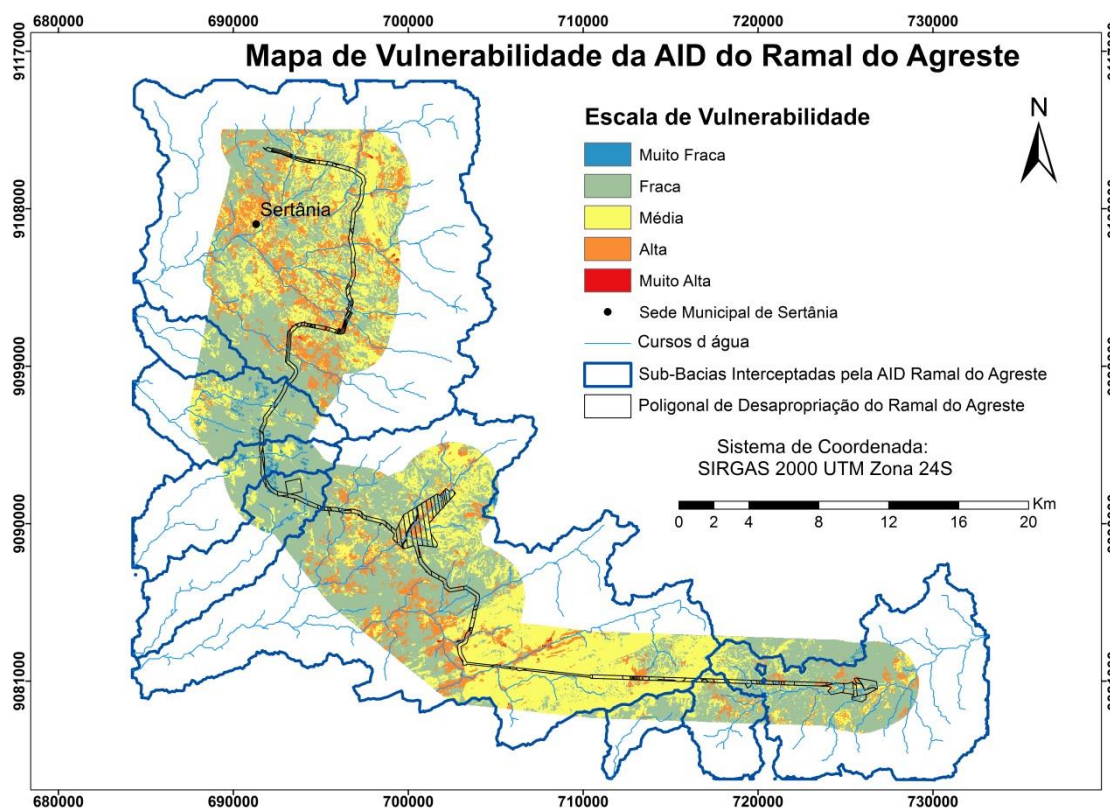
A partir análise combinada do mapa de vulnerabilidade com as bacias interceptadas pela AID do Ramal do Agreste (Figuras 12 e 13), verifica-se que as bacias com áreas menores estão inseridas em regiões de menor vulnerabilidade. Isso indica que a influência da implantação das obras nos cursos d'água inseridos nessas bacias é muito pequena, especialmente para as bacias inseridas no trecho II que estão à jusante do Ramal do Agreste. A influência nos cursos hídricos do Ramal no trecho IV é bem menor quando comparado com os trechos I e III, pois a área das bacias é proporcional ao grau de vulnerabilidade como pode ser verificado na Figura 9.

Cabe destacar que com a implantação do Ramal do Agreste não haverá interrupção dos cursos hídricos das bacias interceptadas e a continuidade do fluxo d'água será garantida por meio da implantação de bueiros, galerias e aquedutos dependendo da área de contribuição da bacia interceptada.

Considerando impossibilidade na definição a linha freática especialmente de regiões formadas por rochas cristalinas que apresentam armazenamento de água apenas nas fraturas. A classificação dos cursos hídricos em efêmeros e intermitentes trona-se bastante complexa. Uma alternativa para a separação desses corpos hídricos pode ser a avaliação do mapa de vulnerabilidade considerando a importância ambiental do curso hídrico para a região.

No presente estudo, avaliando-se o mapa da Figura 13 verifica-se que é possível identificar cursos d'água que estão inseridos em área mais vulneráveis. Considerando a complexidade para separação dos cursos d'água inseridos no cristalino, propõe-se como uma alternativa preliminar que os talwegues inseridos em áreas mais vulneráveis sejam considerados como cursos d'água intermitentes conforme roteiro metodológico apresentado na Figura 3. Por outro lado, os talwegues localizados em regiões onde a escala de vulnerabilidade é fraca podem ser classificados com efêmeros. Dessa forma, verifica-se que os cursos d'água inseridos nos trechos I e III apresentam uma quantidade

maior de cursos d'água intermitentes. Por outro lado, os Trechos II e IV apresentam mais cursos d'água efêmeros.



**Figura 13:** Mapa de vulnerabilidade da Área de influência do Ramal do Agreste combinado com as sub-bacias interceptadas pelo empreendimento.

## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização do método AHP como ferramenta de otimização de critérios permite uma avaliação objetiva e apresenta soluções robustas especialmente na análise das características do meio físico relacionados ao licenciamento ambiental de empreendimentos de grande porte. Essa ferramenta é bastante utilizada na análise da vulnerabilidade ambiental e, no presente trabalho, se mostrou uma alternativa rápida com resultados razoáveis na determinação das áreas mais vulneráveis da AID do Ramal do Agreste. Isso possibilita, tanto para os responsáveis pela implantação do empreendimento quanto para os fiscalizadores, uma alternativa para delimitação das áreas que devem estar mais susceptíveis à degradação ambiental, especialmente, causadas pelo processo de erosão, o que permite a identificação das áreas onde devem ser investidos mais esforços financeiros e ambientais.

Outra ferramenta importante nessa análise foi a utilização da imagem RapidEye, a qual apresenta uma boa resolução espacial e permitiu, a partir do técnicas de processamento, a obtenção do mapa de uso e ocupação da área de estudo. Esse resultado foi essencial na determinação do mapa de vulnerabilidade, tendo em vista que esse mapa foi o que apresentou maior influência dentre os critérios considerados.

A separação de cursos hídricos efêmeros e intermitentes em regiões onde há um predomínio de rochas cristalinas, que permitem um armazenamento de água apenas no interior de fissuras e, portanto não apresentam uma linha freática bem definida, torna bastante complexa a classificação dos cursos hídricos do semiárido. Uma alternativa pode ser a avaliação do grau vulnerabilidade ambiental da região, considerando a área das bacias interceptadas. Dessa forma, os corpos hídricos podem ser classificados com intermitentes, dada sua importância ambiental, quando estiverem inseridos em áreas com alta vulnerabilidade. Por outro lado, os talvegues inseridos em áreas classificadas como sendo de fraca ou muito fraca vulnerabilidade podem ser considerados como efêmeros. Essa análise pode ser uma alternativa preliminar na delimitação de APP em regiões semiáridas tendo em vista que o novo código florestal exclui dessas áreas os corpos hídricos efêmeros.

Recomenda-se para trabalhos futuros a atualização do mapa de vulnerabilidade após a implantação do empreendimento, com objetivo de avaliar as mudanças das condições hídricas da região de estudo. Entende-se que com a conclusão da implantação do Ramal do Agreste haverá maior segurança hídrica das populações que receberam água por meio da Adutora do Agreste, que captará água do reservatório Ipojuca a ser construído com a implantação do Ramal do Agreste.

Outra análise importante é a utilização de outros métodos de classificação, principalmente aqueles validados com amostras de campo da região de estudo, para a determinação do mapa de uso e ocupação mais preciso. A presente análise teve um caráter expedito e, portanto, apresenta alguns indicativos e conclusões, os quais devem ser validados por estudos posteriores, principalmente devido à determinação do mapa de uso e ocupação da região que apresentou peso muito significativo nos resultados.



## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BlackBridge. **Satellite Imagery - Product Specifications**. Version 6.1, April 2015. Disponível em [http://www.rapideye.com/upload/RE\\_Product\\_Specifications\\_ENG.pdf](http://www.rapideye.com/upload/RE_Product_Specifications_ENG.pdf) acesso em 17/11/2015.

BRASIL. **Decreto de 30 de Junho de 2015**, publicado no Diário Oficial da União em 01/07/2015.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.651 de 25 de Maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro)**, publicada no Diário Oficial da União em 28/05/2012.

BRASIL. **Decreto nº 5.975 de 30 de Novembro de 2006**, publicado no Diário Oficial da União em 01/12/2006.

BRASIL. **Resolução do CONAMA nº 369 de 28 de Março de 2006**, publicada no Diário Oficial da União em 29/03/2006.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional (MI), **Estudo de Impacto Ambiental do Ramal do Agreste Pernambucano**, 2008.

CREPANI, E., MEDEIROS, J. SIMEÃO., FILHO, P. HERNANDEZ., FORENSANO, T. GALLOTTI, DUARTE, VALDETE, BARBOSA, C.C. FARIA. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos: INPE, jun. 2001. 113 p, (INPE-8454-RPQ/722).

DIAS, V.S.B. **Análise hierárquica processual (AHP) na modelagem da vulnerabilidade ambiental do minicorredor ecológico Serra das Onças (BA)**. Dissertação de Mestrado. Bahia. PPGM/UEFS, 2012.

FEITOSA, FERNANDO A.C., FILHO, JOÃO MANOEL. **Hidrogeologia Conceitos e Aplicações**. Fortaleza. CPRM, LABHID-UFPE, 1997.

FELIX, I. M.; KAZMIERCZAK, M. L.; ESPINDOLA, G. M. RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 14, 2009, Natal. Anais... INPE, 2009. Artigos, p. 7619-7622.

MOURA, ANA C. M., SEPÚLVEDA, CLÁUDIA L., RESENDE, MARISA S., RIBEIRO, SUELLEN R. Uso de imagens RapidEye como apoio à tomada de decisões no planejamento e gestão da paisagem do município de Bom Sucesso – MG. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE, p.0802-0809, 2013.

SILVA, C. A., NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p.5435-5442, 2009.

ONU – Organização das Nações Unidas, **Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Inter-agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra – Suíça, p.389, 2004.

POELKING, E. L., LAUERMANN, A., DALMOLIN, R. Imagens CBERS na geração de NDVI no estudo da dinâmica da vegetação em período de estresse hídrico. In: **XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13., 2007. Anais... Florianópolis, INPE, 2007.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**, São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed. p.111-118, 2007.

SAATY, T. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, New York, v. 15, p. 234-281, 1977.

SILVA, C. A., NUNES, F. P. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, INPE, p.5435-5442, 2009.

SOLIMAN, MOSTAFA M. **Engenharia hidrológica das regiões áridas e semiáridas**. Rio de Janeiro. LTC, 2013, 358 p.

SPÖRL, C., ROSS, J.L.S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. In: **GEOUSP – Espaço Tempo**, São Paulo, nº 15, pp. 39-49, 2004.

TSUYUGUCHI, B. B., CUNHA, J. E. B. L., RUFINO, I. A. A. Uso de Geotecnologias para a espacialização de dados de precipitação, NDVI e temperatura de superfície da bacia do Rio Taperoá. In: **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, PE, Brasil, p.001-009, 2010.

ZUFFO, A. C., REIS, L. F. R., SANTOS, R. F., CHAUDHRY, F. H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos RBRH**, v.7, n1, p. 81-102, 2002.